



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

*Northeast Geosciences Journal*

v. 8, nº 2 (2022)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID27951>



## **Análise da correlação entre cobertura vegetal e temperatura de superfície na área urbana do município de Ji-Paraná, RO, Amazônia Ocidental entre 1990 e 2020**

### *Analysis of the correlation between vegetation cover and surface temperature in the municipality of Ji-Paraná, RO, Western Amazon between 1990 and 2020*

**Wellington Kruger Brites Reis<sup>1</sup>; Rodrigo Martins Moreira<sup>2</sup>; Bruno César dos Santos<sup>3</sup>; Paulo Henrique de Souza<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Departamento de Engenharia Ambiental, Ji-Paraná/RO, Brasil. Email: wellington.kbr@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3397-5915>

<sup>2</sup> Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Departamento de Engenharia Ambiental, Ji-Paraná/RO, Brasil. Email: rodrigo.moreira@unir.br

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6794-6026>

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Hidráulica e Saneamento, São Carlos/SP, Brasil. Email: bruno-unifal@hotmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8218-6803>

<sup>4</sup> Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Alfenas/MG, Brasil. Email: phsouza31@hotmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0399-9123>

**Resumo:** Esta pesquisa teve como objetivo evidenciar as consequências que a ocupação desordenada causou sobre a temperatura de superfície no município de Ji-Paraná/RO no período entre 1990 e 2020. Teve como instrumento de trabalho a plataforma de sistemas de informações geográficas QGIS v3.10, usando imagens dos satélites Landsat 5 Thematic Mapper (TM), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) e Landsat 8 Orbital Land Imager (OLI) e Thermal InfraRed Sensor (TIRS), obtidas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS – U.S. Geological Survey). Essas imagens foram utilizadas para obter dados de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), estimativa da Temperatura de Superfície e classificação do uso do solo pelo método Random Forest. De acordo com os resultados, a área urbana do município perdeu 11,77% de vegetação nativa em comparação ao que havia em 1990 e a área antropizada cresceu 58,53%. Com isso, a temperatura média subiu de 35,03 °C [34,85 °C; 35,22 °C] em 1990 para 47,04 °C [46,82 °C; 47,26 °C] em 2020. Com esses dados fica evidente que a supressão da vegetação nativa pode influenciar diretamente a temperatura de superfície e o conforto térmico da população residente no município de Ji-Paraná. Logo, faz-se necessária a execução adequada do Plano Diretor vigente.

**Palavras-chave:** Ilhas de calor; Geoprocessamento; Supressão vegetal.

**Abstract:** This paper aims to highlight the consequences the disorderly occupation caused on the surface temperature in Ji-Paraná/RO between 1990 and 2020. The research is based on geoprocessing tools, such as QGIS v 3.10, Landsat 5 Thematic Mapper (TM), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +), Landsat 8 Orbital Land Imager (OLI) and Thermal InfraRed Sensor (TIRS) satellites, obtained by the United States Geological Survey (USGS). Images were used in order to analyze the Vegetation Index by Normalized Difference (NDVI), estimation of Surface Temperature and Land Use Occupation using the Random Forest method. According to the results, Ji-Paraná's urban area lost 11,77% of native vegetation in comparison to 1990 figures. Moreover, the entropized area grew 58,53%. As a result, the average temperature has rose from 35,03 °C [34,85 °C; 35,22 °C] in 1990 to 47,04 °C [46,82 °C; 47,26 °C] in 2020. It is evident that native vegetation suppression can directly influence the Surface Temperature and population thermal comfort. Therefore, it is necessary to properly implement the current Master Plan..

**Keywords:** Heat islands; Geoprocessing; Vegetal suppression.

Recebido: 02/02/2022; Aceito: 28/10/2022; Publicado: 15/12/2022.

## 1. Introdução

No início da década de 70, o governo brasileiro inicia um movimento de fomento a abertura das fronteiras da Amazônia (TURCHI, 1981). Desde então, os estados correspondentes ao bioma começaram a receber imigrantes de todas as partes do país. Contudo, Rondônia foi o principal alvo. Fearnside (1984) explica que Rondônia funciona como um "portão" para a Amazônia, por onde um fluxo crescente de migrantes entra na região provenientes da região Centro-Sul, onde a mecanização da agricultura e a concentração da posse da terra estão forçando o êxodo rural para áreas urbanas de pequenos agricultores.

Carbone (2014) destaca que a ocupação antrópica desordenada agrava o problema de infraestrutura urbana, concentra as moradias e reduz áreas verdes, propiciando a ocorrência de ilhas de calor com implicações diretas no conforto climático. Essa crescente ocupação desordenada influencia a qualidade de vida de quem mora nessas ilhas de calor, as quais Giguère (2009) define como regiões com alto índice de construções civis, caracterizadas por uma grande capacidade de armazenamento de energia térmica. Em seu estudo, Pereira (2019) constatou que as áreas impermeabilizadas com edificações e de menores quantidades de áreas verdes resultam na formação das ilhas de calor. De Sousa Leite et al. (2020), encontraram uma alta correlação entre área antropizada construída e o aumento da temperatura na área urbana de Teresina/PI.

No tocante do planejamento urbano, a falta de zoneamento da cidade de Ji-Paraná resultou na ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis, como as Áreas de Preservação Permanentes (APPs), que em áreas urbanas desempenham papel de regulação climática (RODRIGUES 2019). Estudos mostram que é necessário preservar essas APPs, como Amaral (2017) evidencia a importância da preservação de trechos de florestas urbanas para provimento de serviços ecossistêmicos relacionados ao sequestro de carbono. Pinheiro et al. (2018) ressaltam que o aumento da arborização nos perímetros urbanos traz inúmeros benefícios sociais, econômicos e ambientais para a cidade, pois mantém biodiversidade urbana. Além, disso, funcionam como um grande filtro ambiental, reduzindo a poluição atmosférica e sonora, influenciando no conforto térmico e atenuando ilhas de calor. A fim de desenvolver medidas mitigadoras para as questões ambientais, em 1992 aconteceu a Eco92 - uma reunião onde diversos países juntaram-se para estabelecer metas em benefício do meio ambiente.

Na Eco-92 foi estabelecido que cada país construísse a sua própria Agenda 21. Segundo Cordani (1997), a Agenda enfatiza grandes desafios da humanidade como o desenvolvimento e suas dimensões econômicas e sociais, assim como os desafios ambientais que tratam da conservação e gestão de recursos naturais. A Organização das Nações Unidas (ONU), em 2015, criou a Agenda 2030. O Objetivo nº 11 apresenta metas a serem cumpridas até o referido ano, objetivando um mundo com cidades sustentáveis, onde haja acesso à habitação segura e garantida por métodos de urbanização sustentável. Isso diminuiria o número de mortes por catástrofes ambientais relacionadas à água, como por exemplo perdas vinculadas a moradias nas encostas de igarapés. Essas políticas contribuem diretamente para a atenuação da temperatura de superfície, pois visam a preservação de APPs com a vegetação ciliar.

Produtos de sensoriamento remoto orbital são essenciais para o monitoramento da relação entre perda de vegetação e aumento da temperatura de superfície em escalas multitemporais e multiespaciais, tornando possível a análise das organizações espaciais de diversos fenômenos naturais, antrópicos e suas interações (TEIXEIRA, 2015). Assim, este trabalho é direcionado por duas perguntas principais: "Como a temperatura de superfície comporta-se com o passar dos anos e com o aumento da antropização na área urbana de Ji-Paraná?" e "Há relação entre a vegetação e a temperatura de superfície na área urbana de Ji-Paraná?"

Dado os fatos, esta pesquisa objetiva analisar, por meio do uso de produtos de sensoriamento remoto orbital, a relação entre índice de vegetação e temperatura de superfície no município de Ji-Paraná/RO.

## 2. Metodologia

A Figura 1 apresenta um fluxograma com as etapas do trabalho, sendo essas discorridas a seguir.

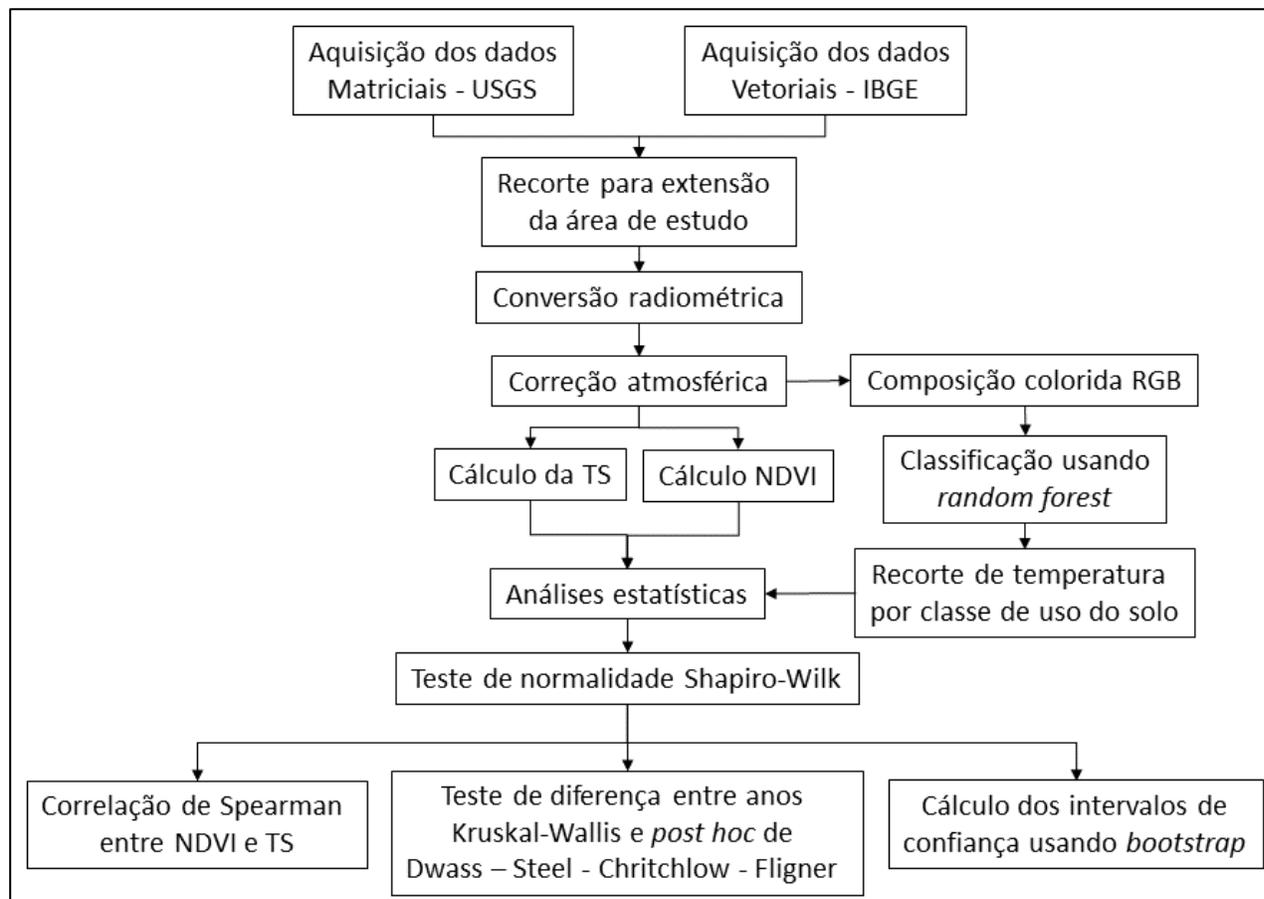


Figura 1 – Fluxo de trabalho da pesquisa. Temperatura de Superfície (TS) e NDVI.

Fonte: Autores (2021)

### 2.1 Área de Estudo

A área estudada foi a região urbana do município de Ji-Paraná, localizada nas coordenadas geográficas latitude 10°52'54.1" Sul e longitude 61°56'27.3" Oeste. A cidade, que tem a população urbana em 130.009 habitantes, foi escolhida por haver poucas informações nesse âmbito para a região (IBGE, 2021). Os dados vetoriais com os setores censitários foram obtidos pela plataforma virtual do IBGE, (2021). A área de estudo pode ser observada na Figura 2.

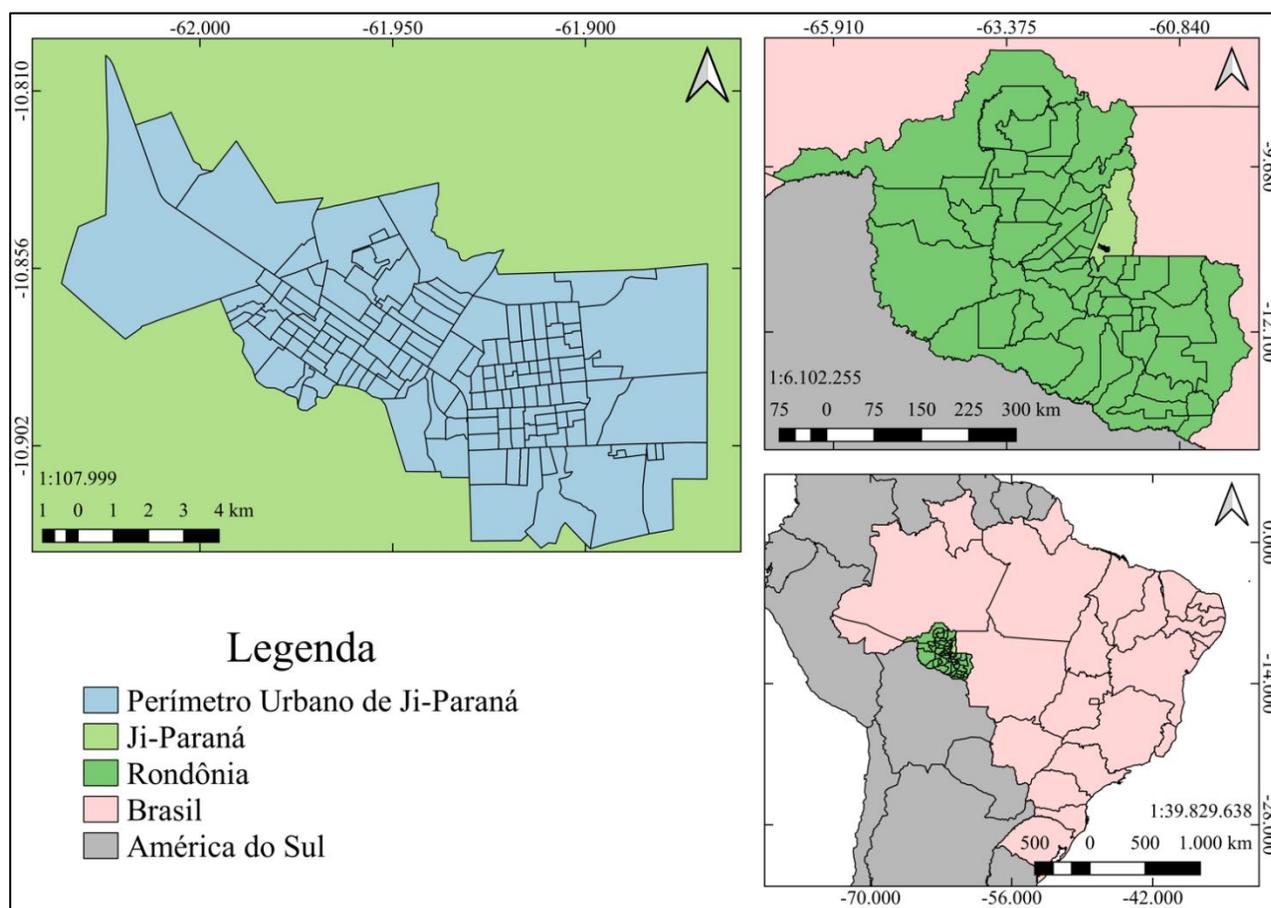


Figura 2 – Localização da área de estudo.  
Fonte: Autores (2021).

A pesquisa foi realizada por meio da aquisição de imagens de sensoriamento remoto orbital, dentre os anos de: 1990, 2000, 2011 e 2020. As imagens foram escolhidas entre os meses de julho e setembro, respeitando sempre a mesma estação do ano, que, para a região, são as menos chuvosas. Estudos aplicando dados de sensoriamento remoto orbital na Amazônia deparam-se com o desafio da presença de nuvens no período de outubro a meados de março. Dessa forma, há uma menor probabilidade de encontrar nuvens, o que poderia inviabilizar a análise das imagens. No entanto, o ano de 2010 foi rejeitado, sendo escolhida a mesma estação para o ano sucessor. Essa escolha é justificada pelo fato de que todas as imagens do Landsat 5 apresentaram nuvens e todas as imagens do Landsat 7 estavam com defeitos no ano de 2010. As imagens foram processadas pelo QGIS V 3.10.14 “A Coruña” (QGIS.org, 2021) por ser um programa livre e gratuito. Todos os processamentos foram realizados utilizando o Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000.

De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é de características Aw que se caracteriza por apresentar índice pluviométrico relativamente elevado com nítido período seco (BASTOS, 1982).

## 2.2 Obtenção das imagens

As imagens usadas foram dos satélites Landsat 5 *Thematic Mapper* (TM), Landsat 7 *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), Landsat 8 *Orbital Land Imager* (OLI) e *Thermal InfraRed Sensor* (TIRS) e obtidas pelo USGS (2021). Foi selecionada a missão Landsat devido aos mais de quarenta anos de disponibilização de produtos de sensoriamento remoto orbital de alta qualidade. As cenas e demais informações das imagens usadas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Informações das imagens utilizadas.

Satélite	Bandas Espectrais	Sensor	Resolução Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Órbita/Ponto	Data de sensoriamento
Landsat 5	B1 - Azul	TM	0,45 - 0,52	231/068	20/07/1990
Landsat 5	B2 - Verde	TM	0,52 - 0,60	231/068	20/07/1990
Landsat 5	B3 - Vermelho	TM	0,63 - 0,69	231/068	20/07/1990
Landsat 5	B4 - Infravermelho Próximo	TM	0,76 - 0,90	231/068	20/07/1990
Landsat 5	B6 - Termal	TM	10,4 - 12,5	231/068	20/07/1990
Landsat 7	B1 - Azul	ETM+	0,45 - 0,52	231/067	24/08/2000
Landsat 7	B2 - Verde	ETM+	0,53 - 0,61	231/067	24/08/2000
Landsat 7	B3 - Vermelho	ETM+	0,63 - 0,69	231/067	24/08/2000
Landsat 7	B4 - Infravermelho Próximo	ETM+	0,78 - 0,90	231/067	24/08/2000
Landsat 7	B6 - Termal	ETM+	10,4 - 12,5	231/067	24/08/2000
Landsat 5	B1 - Azul	TM	0,45 - 0,52	231/067	30/07/2011
Landsat 5	B2 - Verde	TM	0,52 - 0,60	231/067	30/07/2011
Landsat 5	B3 - Vermelho	TM	0,63 - 0,69	231/067	30/07/2011
Landsat 5	B4 - Infravermelho Próximo	TM	0,76 - 0,90	231/067	30/07/2011
Landsat 5	B6 - Termal	TM	10,4 - 12,5	231/067	30/07/2011
Landsat 8	B2 - Azul	OLI	0,45 - 0,51	231/067	24/09/2020
Landsat 8	B3 - Verde	OLI	0,53 - 0,59	231/067	24/09/2020
Landsat 8	B4 - Vermelho	OLI	0,64 - 0,67	231/067	24/09/2020
Landsat 8	B5 - Infravermelho Próximo	OLI	0,85 - 0,88	231/067	24/09/2020
Landsat 8	B8 - Pancromática	OLI	0,5 - 0,68	231/067	24/09/2020
Landsat 8	B10 Termal	TIRS	10,6 - 11,19	231/067	24/09/2020

Fonte: Autores (2021).

### 2.3 Temperatura de superfície

Para determinar a temperatura de superfície (TS), utilizou-se o método descrito por Karen Zanter (2019), que consiste em transformar a banda referente em faixa do infravermelho termal, convertendo os níveis de cinza para radiação, conforme a equação 1.

$$L'_\lambda = M_\rho * Q_{cal} + A_\rho \quad (1)$$

Em que:

$L'_\lambda$  = Radiação Espectral ( $\frac{W}{m^2 * sr * \mu m}$ );

$M_\rho$  = Fator de multiplicação para conversão da banda;

$Q_{cal}$  = Valor do nível do pixel calibrado em DN = Banda Termal;

$A_\rho$  = Fator de escala aditivo de brilho para a banda.

Entretanto,  $L'_\lambda$  não é verdadeiro porque não considera o ângulo de elevação solar. Para isso, usa-se a equação 2, que considera o ângulo solar e deve ser escolhido de acordo com a região estudada.

$$L_\lambda = \frac{L'_\lambda}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{L'_\lambda}{\cos(\theta_{SE})} \quad (2)$$

Em que:

$L_\lambda$  = Topo da reflectância planetária atmosférica

$\theta_{SE}$  = Ângulo de elevação do sol local

$\theta_{SZ}$  = Ângulo do zênite solar local

E, posteriormente usando o valor encontrado ( $L_\lambda$ ), converte-se a para temperatura para graus Kelvin (K) pela equação 3.

$$TB = \frac{K_2}{\ln \ln \left( \frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right)} \quad (3)$$

Em que:

TB = Temperatura máxima de brilho da atmosfera (K);

$L_\lambda$  = Radiância Espectral ( $\frac{W}{m^2 * sr * \mu m}$ );

$K_1$  = Constante de conversão térmica específica da banda a partir dos metadados;

$K_2$  = Constante de conversão térmica específica da banda a partir dos metadados.

Em seguida, calcula-se a proporção de vegetação proposta por Carlson e Ripley (1997), representada pela equação 4.

$$PROPVEG = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (4)$$

Os métodos para calcular o NDVI estão dispostos na seção 2.4.

Tendo feito isso, o próximo passo é calcular a emissividade, método proposto por Artis e Carnahan (1982) e Weng et al. (2004). De acordo com a equação 5.

$$e = (0,004 \times PROPVEG) + 0,986 \quad (5)$$

E por último, calcula-se a temperatura de superfície (equação 6), ainda seguindo o método de Artis e Carnahan (1982) e Weng et al. (2004):

$$T = \frac{TB}{1 + \left( \lambda \times \frac{TB}{c^2} \right) \times \ln(e)} \quad (6)$$

Em que:

T = temperatura de superfície (°C);

$\lambda$  = comprimento de onda da radiância emitida;

TB = temperatura de brilho;

$c^2 = h * c / s = 1,4388 * 10^{-2} \text{ m K} = 14388 \mu\text{m K}$ ;

e = emissividade

## 2.4 NDVI

Para diferenciar áreas vegetadas de não vegetadas, foi utilizado o *Normalized Difference Vegetation Index* ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), método proposto por Rouse et al., (1974). De acordo com Shimabukuro (1998), esse índice é relacionado a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar. Além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição, esse índice influencia a resposta espectral das bandas dos sensores remotos. Para Melo (2011), o NDVI é uma aplicação dos processos de realce por operações matemáticas entre bandas de sensores satelitários (equação 6).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (6)$$

Em que:

NIR = banda correspondente ao infravermelho próximo;

RED = banda correspondente ao vermelho.

Segundo Assalve (2017), o resultado desse cálculo é uma imagem que varia de -1 a +1, correspondendo a regiões com ausência de cobertura vegetal até àquelas com grande biomassa vegetal. Valores próximos a -1 indicam áreas pouco vegetadas e valores próximos a +1 indicam áreas com maior biomassa vegetal. Shimabukuro (1998) explica que para a geração das imagens de índice de vegetação, é importante a transformação dos números digitais em valores de reflectância, de modo a obter valores comparáveis com os de outros trabalhos disponíveis na literatura.

## 2.5 Classificação das imagens

Para a classificação do uso e ocupação do solo usou-se o algoritmo Random Forest (RF) por ser um classificador supervisionado, de tipo *ensemble* e com capacidade de processamento de alta quantidade de dados com alta acurácia. O classificador consiste em uma coleção de classificadores estruturados em árvores  $\{h(x, k), k = 1, n, \dots\}$  onde  $k$  são vetores aleatórios distribuídos de forma idêntica (BREIMAN, 2001). Esse é um método de classificação supervisionada que utiliza de algoritmo de aprendizado de máquinas. O método consiste em uma combinação de classificadores, onde cada classificador contribui com um único voto para a atribuição da classe mais frequente ao vetor de entrada. (RODRIGUEZ GALIANO, 2012).

Segundo Pal (2005) o classificador de RF usa o Índice de Gini como uma medida de seleção, que mede a impureza de um atributo em relação às classes. No treinamento o pixel é selecionando aleatoriamente e atribuído a alguma classe  $C_i$ , o índice de Gini pode ser escrito como:

$$\sum \sum_{j \neq i} (f(C_i, T)/|T|)(f(C_j, T)/|T|) \quad (7)$$

Onde  $f(C_i, T)/|T|$  é a probabilidade de o pixel selecionado pertencer à classe  $C$ .

Então, o programa criará uma árvore de classes, e em cada classe é necessário que haja várias amostras dos pixels correspondentes a ela. Dessa forma, é necessário que no treinamento haja o maior número de amostra possível para melhores resultados.

A acurácia das imagens foi avaliada usando o Índice Kappa, onde foram obtidos os seguintes valores: 0,94; 0,96; 0,92; e 0,94 para os anos de 1990, 2000, 2011 e 2020, respectivamente. As classes foram definidas como vegetação nativa, pastagem, água e antropização, que consta de áreas construídas. Na área urbana do município não há presença de agricultura de culturas perenes e não perenes.

## 2.6 Análises estatísticas

Foram realizadas análises estatísticas descritivas, utilizando bootstrap com 9.999 repetições, e inferenciais com o auxílio do programa Jamovi versão 1.6 (2021) e o programa SPSS v26 (IBM Corp., 2019). Para todas as análises foi utilizado alfa igual a 0,05.

O conjunto de valores para os anos foi testado quanto a sua normalidade usando o teste Shapiro-Wilk, onde:

$$\begin{cases} H_0: \text{Os dados seguem uma distribuição normal} \\ H_1: \text{Os dados não seguem uma distribuição normal} \end{cases}$$

Para comparar a existência de diferença entre TS e NDVI para os anos estudados, sem distinção de classes, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis (1952), rejeitando  $H_0$ , seguido pelo teste par-a-par de Dwass-Steel-Chritchlow-Fligner para interação entre anos, descritos por Dwass (1960), Steel (1960;1961) e Douglas e Michael (1991), onde:

$$\begin{cases} H_0: \text{Os dados não apresentam diferença significativa} \\ H_1: \text{Os dados apresentam diferença significativa} \end{cases}$$

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Uso e ocupação do solo

Com os resultados das análises, nota-se que o município de Ji-Paraná passou por um forte processo de urbanização. De acordo com a Figura 3, em 1990 a área antropizada era de 17,18% da área total, e em 2020 alcançou 27,03%. Se compararmos a extensão de antropização de 1990 com a de 2020, nota-se um crescimento de 58,53% da área. Em contrapartida, 2020 apresentou uma expressiva perda em vegetação nativa: em 1990, a vegetação nativa somava 32,07% da área total, passando para 20,30% em 2020. A área de pastagem saiu de 48,77% em 1990 para 50,12% em 2020.

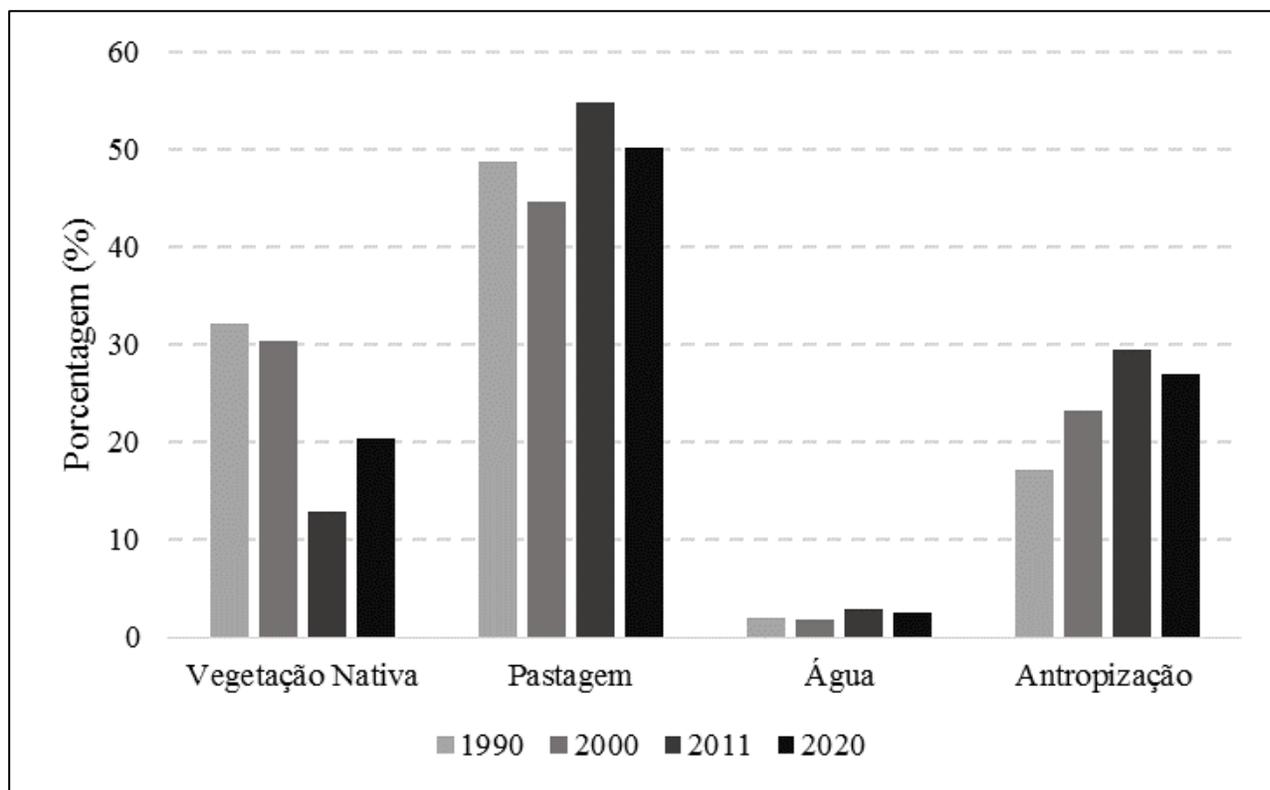


Figura 3 – Proporção do uso do solo e alteração das classes entre os diferentes anos.

Fonte: Autores (2021).

É possível observar que o processo de antropização intenso entre 1990 e 2020, com grande perda de vegetação nativa. Entretanto, a partir de 2000, nota-se que a antropização cresceu da mesma forma que a vegetação nativa diminuiu, enquanto a pastagem variou poucos pontos percentuais para mais. Apesar do comportamento inversamente proporcional, não significa que essa vegetação foi convertida diretamente para área antropizada, mas sim que uma área cresceu na mesma velocidade que a outra diminuiu.

Entre 2000 e 2011, ocorreu a maior redução em área de vegetação nativa e aumento de área antropizada. Porém, de 2011 para 2020, as áreas não variaram tanto quanto o intervalo anterior, contudo apresentou crescimento. Isso pode ter ocorrido devido à influência das políticas de colonização da Amazônia iniciadas em 1970. Em 2012, o governo tomou providências para conter o avanço do desmatamento através do Código Florestal, Lei 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Ainda, esse acréscimo pode relacionar-se a áreas de floresta plantadas de Teca.

A água teve poucas variações em relação à área. Contudo, registrou-se um pico no ano 2011. No ano posterior, a variação, entretanto, voltou a diminuir. Porém, sabe-se que a água está ligada à precipitação, influenciando a variação da

área superficial de acordo com a vazão. Água foi registrada, principalmente no Rio Machado, que corta a cidade. Sua vazão pode variar conforme os regimes pluviométricos.

Os resultados vistos na Figura 3 são facilmente percebidos na Figura 4: a perda e a transformação da vegetação são evidentes. As matas ciliares existentes em 1990 foram convertidas em pastagens, sobrando pouca vegetação no entorno do rio Ji-Paraná, divisor do município. Para Ribeiro (2018), com a remoção da vegetação, as margens do rio ficam desprotegidas causando a erosão do solo. Como consequência, o processo de assoreamento do rio foi intensificado.

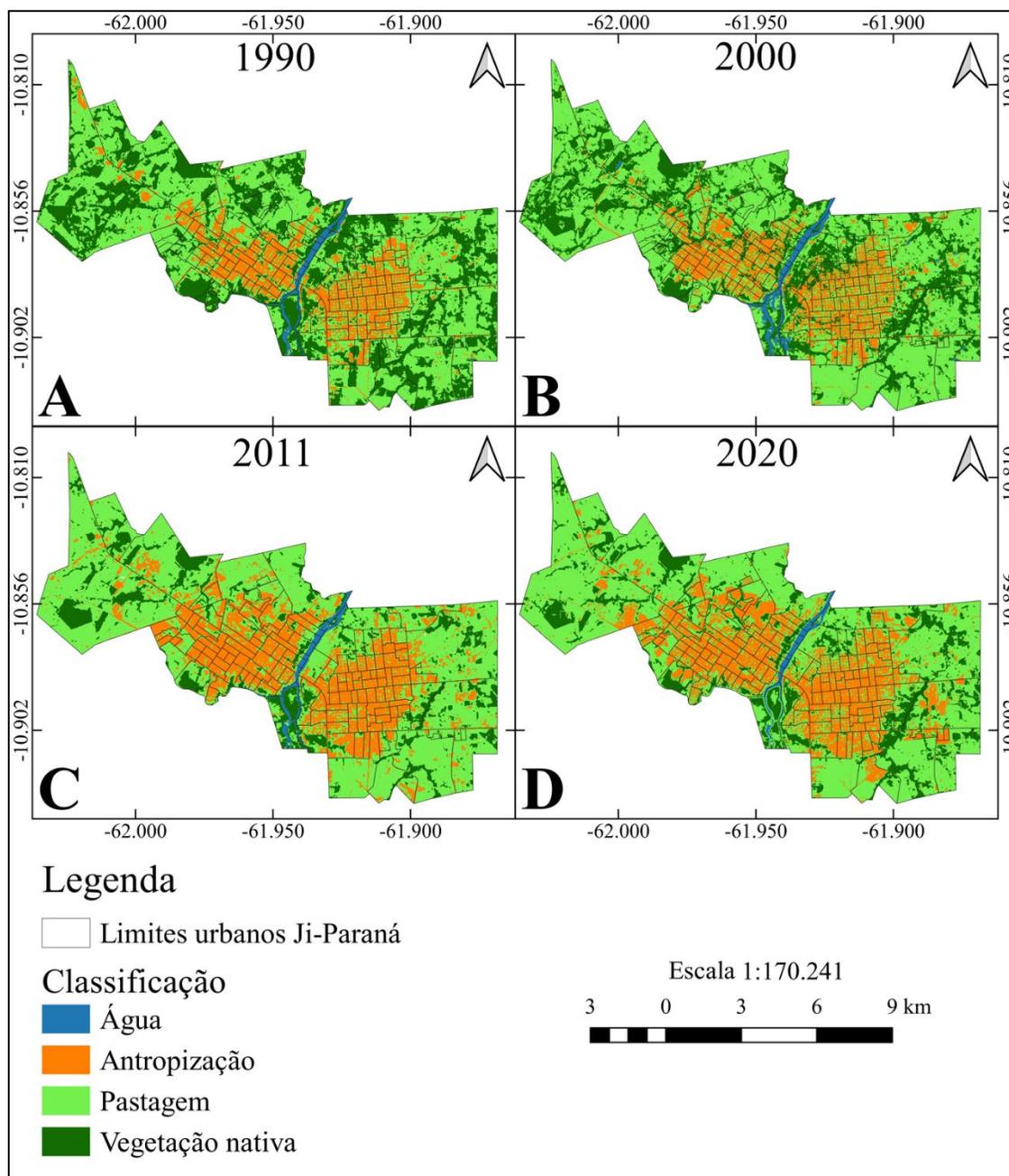


Figura 4 – Classificação do uso do solo para os diferentes anos estudados. Sendo Painel A - 1990; Painel B – 2000; Painel C – 2011; e Painel D – 2020.

Fonte: Autores (2021).

### 3.2 Correlação entre TS e NDVI

Para conferir a normalidade dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. Todos os anos (tratamentos) analisados apresentaram  $p$ -valor  $< 0,001$ . Dessa forma, rejeita-se a hipótese nula e assume-se que os dados não apresentam normalidade. A Tabela 2 traz os valores das análises.

*Tabela 2 – Estatística descritiva das variáveis Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Temperatura de Superfície (TS), apresentando o número de amostras (n), a média, bootstrap superior e bootstrap inferior ( $\alpha = 0,05$ ), valor W de Shapiro-Wilk e p-valor de Shapiro-Wilk.*

	NDVI 1990	TS 1990	NDVI 2000	TS 2000	NDVI 2011	TS 2011	NDVI 2020	TS 2020
n	1094	1094	1094	1094	1094	1094	1094	1094
Média	0,22	35,03	0,19	38,27	0,17	40,84	0,21	47,04
Bootstrap - superior	0,229	35,22	0,2	38,45	0,17	41,05	0,21	47,25
Bootstrap - inferior	0,22	34,85	0,19	38,09	0,16	40,64	0,2	46,82
Viés	-1E-04	0,002	0	-0,003	0	-8E-04	0	-0,003
Shapiro-Wilk W	0,983	0,99	0,987	0,994	0,981	0,946	0,979	0,969
Shapiro-Wilk p	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$

*Fonte: Autores (2021).*

Na Tabela 3, foram comparados por teste de hipóteses os dados de NDVI e TS para os diferentes anos, buscando compreender se o índice de vegetação e a temperatura de superfície variaram significativamente entre um ano e outro. De acordo com o  $p$ -valor rejeita-se a hipótese nula, assumindo-se que há diferença entre os tratamentos, com exceção da comparação entre o ano de 2000 e 2020 para a variável NDVI.

*Tabela 3 – Teste de hipóteses par-a-par utilizando o teste Dwass-Steel-Chritchlow-Fligner para Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Temperatura de Superfície (TS) entre os diferentes anos ( $\alpha = 0,05$ ).*

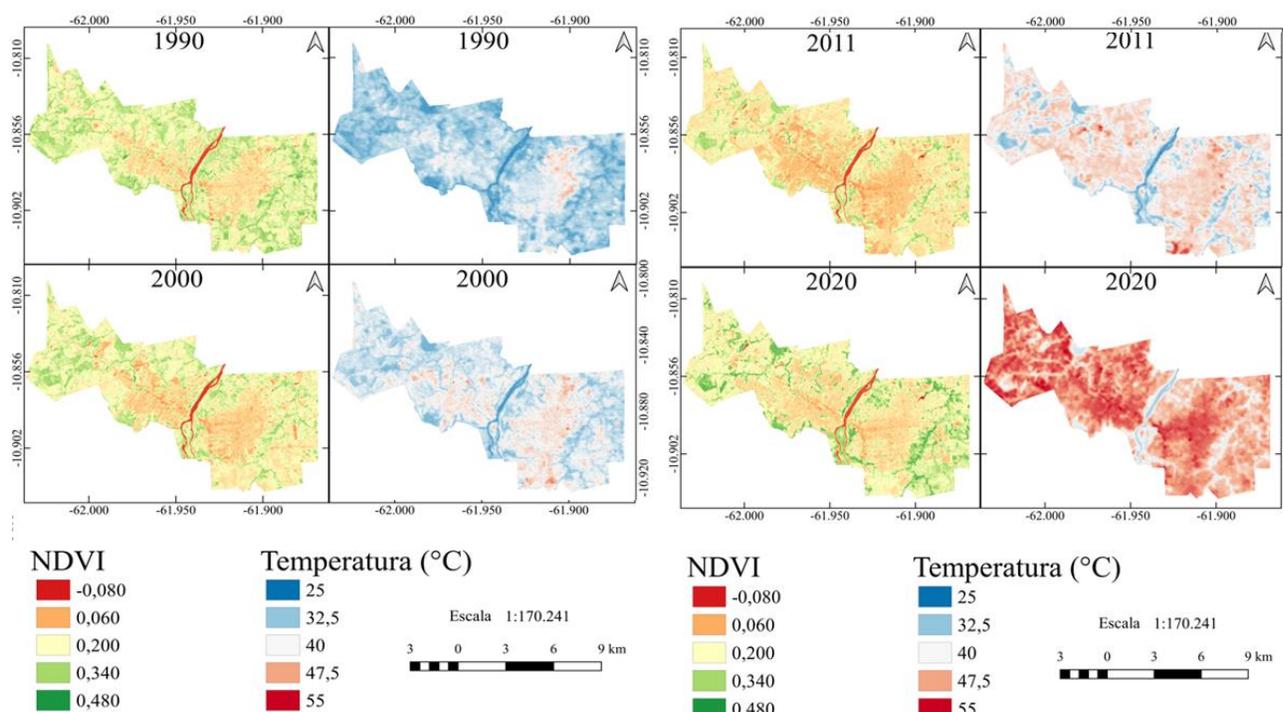
Comparações par-a-par - NDVI		W	p-valor	Comparações par-a-par - TS		W	p-valor
1990	2000	-13,04	$<0,001$	1990	2000	31,8	$<0,001$
1990	2011	-25,9	$<0,001$	1990	2011	44,9	$<0,001$
1990	2020	-9,07	$<0,001$	1990	2020	55,9	$<0,001$
2000	2011	-14,69	$<0,001$	2000	2011	27,7	$<0,001$
2000	2020	3,34	0,085	2000	2020	52,6	$<0,001$
2011	2020	17,38	$<0,001$	2011	2020	45,5	$<0,001$

*Fonte: Autores (2021).*

Dado os resultados, é possível observar que o índice de vegetação sofreu mudanças significativas ao longo dos anos analisados. Autores como Schüle *et al.* (2018) e Gallo *et al.* (2019) constataram que o NDVI sofreu mudanças ao realizarem comparações pareadas, assim como o presente estudo.

Os testes para TS foram significativos em todos os casos ( $p$ -valor  $< \alpha$ ). Dessa forma, assume-se que a diferença nas médias de TS variarão significativamente nos anos analisados. Alatorre *et al.* (2016) e Fathizad *et al.* (2017) registraram em seu estudo que ao comparar a temperatura de superfície entre diferentes anos, essas apresentaram alterações significativas nas áreas estudadas. Esses resultados corroboram com os encontrados nesta pesquisa.

As mudanças no uso e ocupação do solo contribuem diretamente para o aumento da temperatura de superfície. As Figuras 5A e 5B ilustram essas variações. Os intervalos de valores foram padronizados para todos os anos, de maneira a apresentar fielmente alterações ao longo do tempo.



Figuras 5A e 5B – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Temperatura de Superfície (TS) em °C para os diferentes anos. Painel – A: NDVI em 1990. Painel – B: TS em 1990. Painel – C: NDVI em 2000. Painel – D: TS em 2000. Painel – E: NDVI em 2011. Painel – F: TS em 2011. Painel – G: NDVI em 2020. Painel – H: TS em 2020.

Fonte: Autores (2021).

Observando o painel B, a temperatura de superfície em 1990 variou 17,20 °C, expressando os maiores valores na área de urbanização densa. A máxima, de 44,88 °C, encontra-se justamente em locais com menor índice de vegetação, justamente onde há uma baixa atividade fotossintética. Para Alves *et al.* (2017), com a diminuição do NDVI, a temperatura de superfície tende a aumentar. A calha do rio e seu entorno apresentam temperaturas mais amenas. A região ao lado direito do rio na época compreendia o principal polo comercial do município, isso explica a maior área de TS.

Analisando o ano de 2000, de acordo com o painel D, a variação da temperatura aumentou a amplitude para 20,6 °C. As áreas com as maiores temperaturas começaram a se expandir por toda a extensão, sendo que a região esquerda ao rio ainda é mais quente, como era em 1990. A perda de vegetação entre 1990 e 2000 não é tão expressiva em relação ao intervalo de 2000 a 2011, como descrito na Figura 3.

Com isso, em 2000, a temperatura máxima de superfície aumentou 4,79 °C em relação ao ano anterior. O aumento da temperatura não ocorreu apenas em locais urbanizados, mas também em áreas em que a vegetação nativa foi suprimida e convertida em pastagens. Santos (2018) verificou que quando ocorre uma diminuição dos valores de NDVI médio, consequentemente ocorre um aumento da temperatura de superfície média. E quando o valor de NDVI médio aumenta, consequentemente a temperatura de superfície média diminui.

No ano de 2011, painel F, a amplitude foi de 24,97 °C, indicando um crescente aumento desde 1990. No intervalo entre 2000 e 2011 ocorreu o maior aumento de área avermelhada, que representa temperatura de superfície: o lado esquerdo e direito do centro urbano começam a se igualar em valores de temperatura, uma consequência da expansão da urbanização mostrada na figura 3 - de 2000 para 2011, essa é a maior taxa de crescimento em área urbana. Nota-se também a influência da perda de vegetação sobre a temperatura de superfície. Em alguns locais de pastagem, os valores são similares aos locais antropizados. Isso pode acontecer em decorrência de queimadas realizadas para formar pastagens, deixando o solo exposto.

O ano de 2020, painel H, apresentou os maiores valores para temperatura de superfície, chegando a máximas de 55,53 °C - uma amplitude de 21,59 °C e uma média de 47,04 °C [46,82 °C; 47,26 °C], as médias serão apresentadas seguidas do intervalo de confiança calculado por bootstrap. O ano tem a sua área quase toda coberta por tons avermelhados, indicadores de altas temperaturas, salvando-se apenas áreas onde ainda existem vegetação nativa e no entorno do rio Ji-

Paraná. Para Souza et al. (2015), o intenso crescimento urbano resulta em um microclima urbano e, conseqüentemente, no aumento da temperatura de superfície.

Analisando a Figura 6, que traz a evolução da TS e NDVI para os diferentes anos em formato de boxplot, percebe-se o crescente aumento da temperatura de superfície (painel A) e queda do índice de vegetação (painel B). O ano de 1990 apresentou menores temperaturas e amplitude. É possível observar que até 2011 o primeiro quartil do ano posterior não ultrapassou o terceiro quartil do ano anterior. Entretanto, 2020 ultrapassou o terceiro quartil e ainda manteve mais de 75% dos dados acima dos 40 °C. Diversos autores como Siddique e Ghaffar (2019), Solangi et al., (2019) e Rahmad et al., (2019) ao estudarem a relação entre NDVI e TS, comprovaram que essas variáveis são inversamente proporcionais: onde há baixa atividade fotossintética a temperatura superficial é menor. Dessa forma, corrobora-se com os resultados da presente pesquisa. Analisando o NDVI, nota-se que ele manteve uma crescente queda até 2011.

Analisando os resultados de maneira geral, as áreas que apresentaram maiores temperaturas foram os locais sem vegetação primária, ou seja, pastagens e áreas antropizadas. Dentre o período estudado, os valores médios de temperatura subiram de 35,03 °C [34,85 °C; 35,22 °C] em 1990 para 47,04 °C [46,82 °C; 47,26 °C] em 2020, dessa forma expressando um aumento de 10,12 °C na média dos 30 anos estudados. Observando os mapas de TS e NDVI (figura 4), nota-se que a temperatura de superfície aumentou gradativamente ao longo dos anos por toda a área urbana. A região oeste do município estudado não apresenta um grande aglomerado de edificações, em sua maioria é formada por pastagens. No entanto, de 1990 para 2020, a vegetação nativa retirada influenciou no aumento da temperatura superficial por todo seu entorno. Na região central, a área mais urbanizada também apresentou aumentos nas temperaturas de superfície devido à utilização de materiais com maior capacidade de armazenamento de energia térmica e maior absorção de radiação solar. Vianna (2018) verificou que o tipo de vegetação existente e os materiais empregados nas construções civis influenciam diretamente a temperatura da superfície.

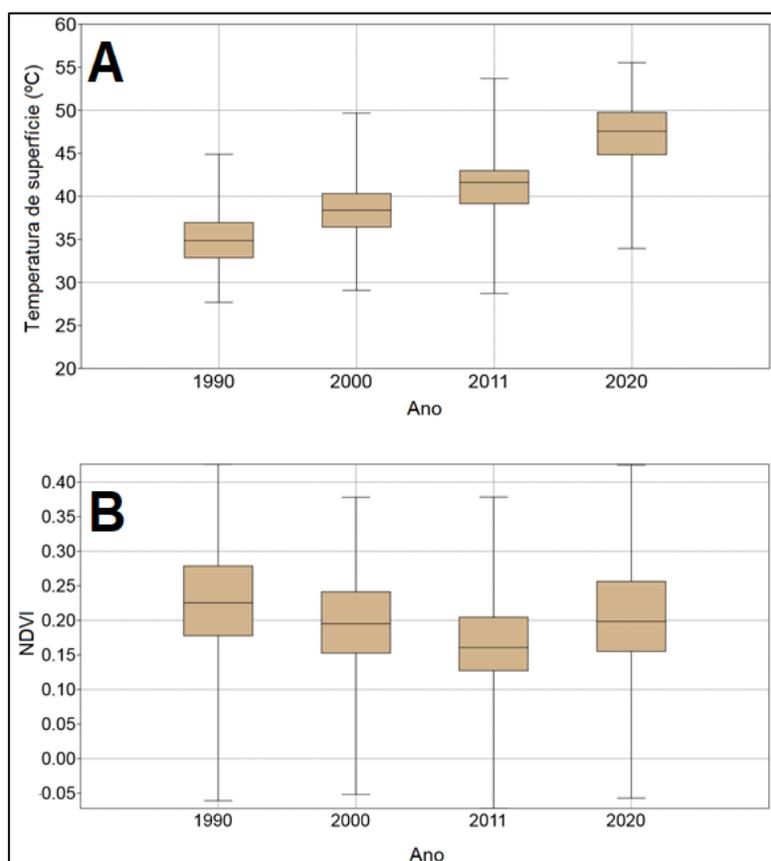


Figura 6 – BoxPlot comparativo entre Temperatura de Superfície (TS) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para os diferentes anos. Painel A - Temperatura de Superfície. Painel B - NDVI.

Fonte: Autores (2021).

A Figura 7 traz a correlação entre a temperatura de superfície e NDVI. O coeficiente de correlação de Spearman apresentou uma correlação negativa moderada, variando entre -0,555 e -0,465. De acordo com Akoglu (2018), o coeficiente de correlação negativa de Spearman é considerado moderado quando os valores variam entre -0,4 e -0,6, faixa na qual estão dispostos os dados.

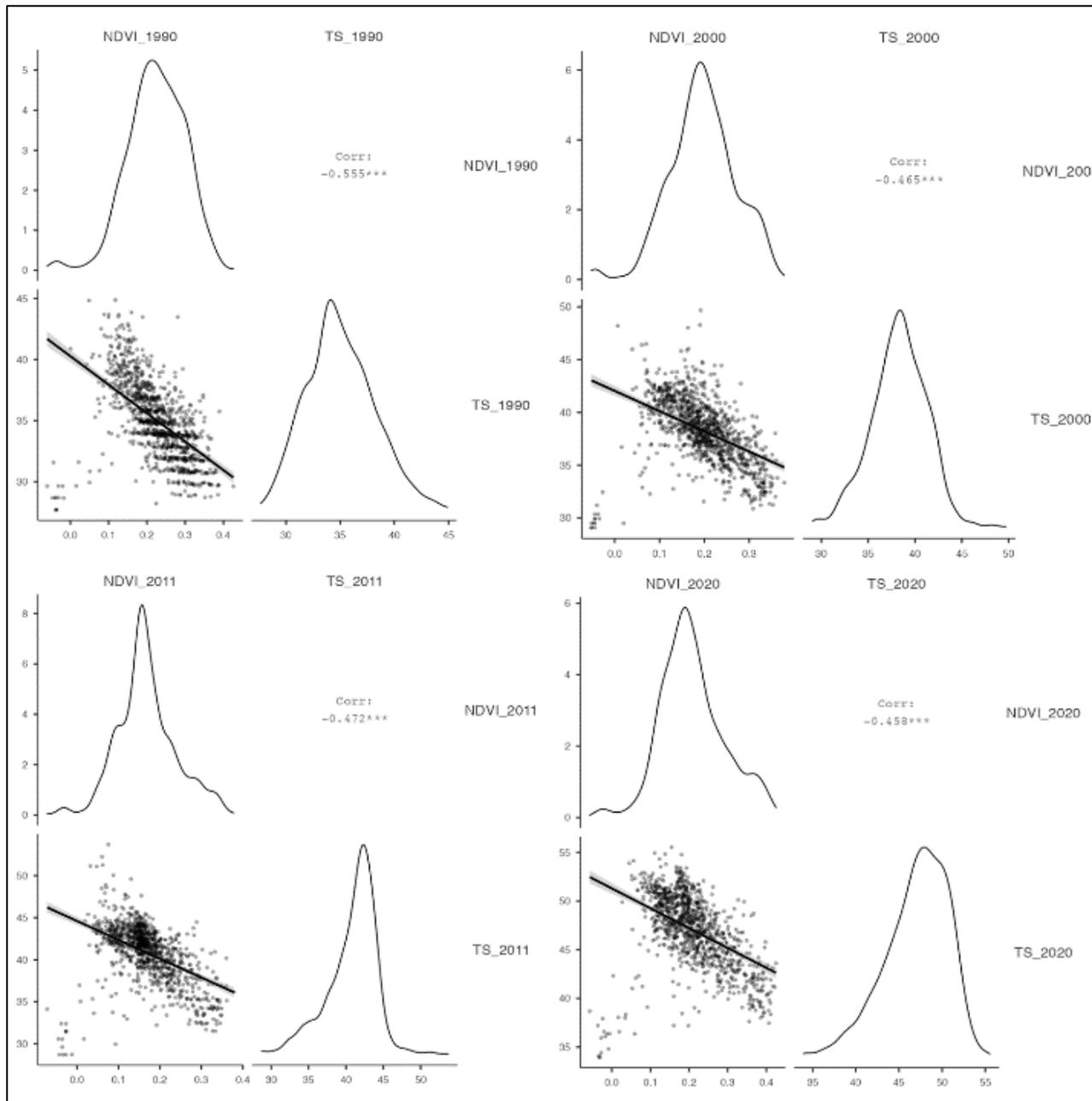


Figura 7 – Correlação entre Temperatura de Superfície (TS) em °C e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada NDVI, mostrando os coeficientes de correlação para os diferentes anos.  
 Fonte: Autores (2021).

Os resultados mostrados pela Figura 7 certamente não apresentaram valores maiores devido ao rio que divide a cidade. Observa-se que em todos os painéis há pontos aglomerados na faixa negativa para NDVI e que esses pontos apresentam as menores temperaturas de superfície. O que explica isso são os valores de água, pois apresentam um comportamento diferente: o rio tende a ter temperaturas mais baixas e não produz atividade fotossintética, diferente dos demais tipos de cobertura do solo, onde menor o NDVI, maior a TS.

#### 4. Considerações finais

Com os resultados desta pesquisa, foi possível observar que o microclima urbano gerado pelo processo de urbanização causou aumento na temperatura de superfície do município de Ji-Paraná. Os resultados expressaram uma variação de 12,01 °C na média entre 1990 e 2020. Ainda é possível notar que há uma correlação negativa entre NDVI e temperatura na área urbana de Ji-Paraná, uma vez que onde os valores de NDVI são maiores, indicando vegetação mais densa e saudável, os valores de TS são mais amenos. Isso reforça a importância de áreas verdes para o conforto térmico da população residente na área de estudo.

A variação de temperatura ocorreu principalmente nas classes de pastagem e antropização, entretanto, as causas são diferentes: a área antropizada teve como principal causa a sua expansão e as diversas edificações nela construídas, como prédios, casas, ruas e diversas construções em prol da infraestrutura, escolas e hospitais por exemplo. Os materiais usados na construção armazenam energia térmica e a transferem para o ar por meio da convecção, contribuindo para o aumento da temperatura do ar e conseqüente o desconforto térmico. As áreas de pastagem tiveram como principal motivo de aumento da temperatura de superfície a supressão da vegetação nativa, que atuava atenuando a temperatura de superfície.

A vegetação nativa em 2020 perdeu 51,49% de sua área anterior (1990). Fica evidente como a supressão da vegetação nativa interfere diretamente na temperatura superficial. Para melhorar o conforto térmico da população, recomenda-se pintar telhados de cores claras, preservar as APPs dos rios, dos buritizais, das nascentes e preservar áreas verdes e criar novas em locais estratégicos. Para isso, um fator indispensável é a criação de planos diretores adequados e eficazes, melhorando a saúde e a qualidade de vida da população residente.

#### Referências

- AKOGLU, H. User's guide to correlation coefficients. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, v. 18, n. 3, p. 91-93, 2018.
- ALATORRE, L. C. et al. Temporal changes of NDVI for qualitative environmental assessment of mangroves: shrimp farming impact on the health decline of the arid mangroves in the Gulf of California (1990–2010). *Journal of Arid Environments*, v. 125, p. 98-109, 2016.
- ALVES, E. et al. Multitemporalidade das anomalias da temperatura de superfície: o caso da cidade de Iporá, Brasil. *Journal Of Geography And Spatial Planning*, Lisboa Pt, v. 0, n. 12, p. 5-21, 30 dez. 2017.
- AMARAL, R. et al. O sequestro de carbono em trechos da floresta urbana de Belo Horizonte: por um sistema de espaços livres mais eficiente no provimento de serviços ecossistêmicos urbanos. *Paisagem e Ambiente*, São Paulo SP, v. 0, n. 39, p. 163-179, 20 out. 2017. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA).
- ARTIS, D. A.; CARNAHAN, W. H. Survey of Emissivity Variability in Thennography of Urban Areas. *Remote Sensing of Environment*, Nova York - Ny, v. 4, n. 12, p. 313-329, maio 1982.
- ASSALVE, L. C. de Freitas et al. Índice de Vegetação (NDVI) na gestão do uso da terra na zona de amortecimento da estação ecológica de Assis - SP. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, Campinas - SP, p. 5669-5673, jun. 2017. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – UNICAMP.
- BASTOS, Terezinha Xavier. *O clima da Amazônia Brasileira segundo Köppen*. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1982.
- BRASIL. *Código Florestal*. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012.
- BREIMAN, L. Random forests. *Machine learning*, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.

- CARBONE, A. S. *Gestão de áreas verdes no município de São Paulo, SP - Brasil: ganhos e limites*. 2000. 242p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- CARLSON, T.N.; RIPLEY, D.A., 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62, pp. 241-252.
- CORDANI, U. G., MARCOVITCH, J., SALATI, E. Avaliação das ações brasileiras após a Rio-92. *Estudos Avançados (USP. Impresso)*, São Paulo – SP, v. 11, p. 399-408, 1997.
- DE SOUSA LEITE, A.C., DE OLIVEIRA, L.M.M., DA SILVA, B.B., MONTENEGRO, S.M.G.L., BEZERRA, U.A. Mudança Espaço Temporal do Uso e Cobertura do Solo e Estimativa da Temperatura da Superfície no Município de Teresina–Piauí, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 42, n. 04, p.42-51. 2020.
- DOUGLAS, C. E.; MICHAEL, F. A. On distribution-free multiple comparisons in the one-way analysis of variance. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, v. 20, n. 1, p. 127-139, 1991.
- DWASS, M. Some k-sample rank-order tests. *Contributions to probability and statistics*, 1960.
- FATHIZAD, H. et al. The investigation of spatiotemporal variations of land surface temperature based on land use changes using NDVI in southwest of Iran. *Journal of African Earth Sciences*, v. 134, p. 249-256, 2017.
- FEARNSIDE, P. M. Reserva de Pesquisa Ecológica para a Floresta Amazônica criada em Ouro Preto do Oeste Rondônia. *Acta Amazonica*, Manaus – AM, v. 14, n.3-4, p. 527-528, 1984.
- GALLO, K. et al. Validation of satellite observations of storm damage to cropland with digital photographs. *Weather and Forecasting*, v. 34, n. 2, p. 435-446, 2019.
- GIGUÈRE, M. Urban Heat Island Mitigation Strategies. *Instauré Aux Publications Du Québec*, 2009. 75 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativa Populacional 2020*, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/ji-parana/panorama>> Acesso: 15 de fev. 2021.
- IBM Corp. Released 2019. *IBM SPSS Statistics for Windows*, Version 26.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- JÍ-PARANÁ (Município). *Lei nº 2187*, de 24 de agosto de 2011. Ji-Paraná, RO, 25 ago. 2011.
- KAREN ZANTER (org.). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*. 4. ed. Sioux Falls, South Dakota: Department of The Interior U.S. Geological Survey, 2019. 106 p.
- KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, v. 47, n. 260, p. 583-621, 1952.
- MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 23, 2011.
- ONU. Transformando Nosso Mundo: *a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>> Acesso em: 17/04/ 2021.
- PAL, M. Random Forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, n. 1, p. 217-222, 2005.
- PEREIRA, G. T. et al. Análise da relação entre temperatura e cobertura vegetal de área urbana utilizando sensoriamento remoto em Coxim/MS. *South American Journal of Basic Education, Technical And Technological*, v. 6, p. 42-53, 2019.
- PINHEIRO, R. T.; MARCELINO, D. G.; MOURA, D. R. Impacto da implantação do BRT na arborização da região central de Palmas, Tocantins. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 46, 2018.

- QGIS.org, 2021. *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. Disponível em: <[https://www.qgis.org/pt\\_BR/site/forusers/download.html](https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html)>. Acesso em: 10 jan. 2021.
- RAHMAD, R.; NURMAN, A.; PINEM, K. Impact of NDVI change to spatial distribution of land surface temperature (A study in Medan city, Indonesia). In: *1st International Conference on Social Sciences and Interdisciplinary Studies (ICSSIS 2018)*. Atlantis Press, 2019. p. 167-171.
- RIBEIRO, L. R. *A Degradação da Mata Ciliar no Rio Salgado em Lavras da Mangabeira - CE: A Invasão Urbana e Seus Efeitos Devastadores*. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Geografia). Centro de Formação de Professores – CFP, Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, PB. 2018.
- RODRIGUES, H. V. et al. Análise da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do igarapé Dois de Abril, Ji-Paraná-RO. *Almanaque Multidisciplinar de Pesquisa*, v. 1, n. 2, 2019.
- ROUSE, Jhon W. et al. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *NASA/GSFC Type III Final Report*, Greenbelt, Md, v. 371, 1974.
- SANTOS, R. B. *Análise da Temperatura de Superfície Terrestre em Áreas de Pastagens com Diferentes Sistemas de Produção e Tipos de Manejo*. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2018.
- SENADO FEDERAL. *Criados critérios de classificação do espaço urbano e rural*. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2009/10/06/criados-criterios-de-classificacao-do-espaco-urbano-e-rural#:~:text=-%20De%20médio%20porte%2C%20se%20tiver,superior%20a%20cem%20mil%20habitantes>. Acesso em: 01 mar. 2021.
- SHIMABUKURO, Y. E.; NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 13, p. 1729-1737, 1998.
- SIDDIQUE, N. P.; GHAFAR, A. Spatial and Temporal relationship between NDVI and Land Surface Temperature of Faisalabad city from 2000-2015. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, v. 8, n. 1, p. pp. 55-64, 2019.
- SOLANGI, G. S.; SIYAL, A. A.; SIYAL, P. Spatiotemporal dynamics of land surface temperature and its impact on the vegetation. *Civil Engineering Journal*, v. 5, n. 8, p. 1753-1763, 2019.
- SOUZA, D. O.; NASCIMENTO, M. G.; ALVALÁ, R. C. S. Influência do crescimento urbano sobre o microclima de Manaus e Belém: Um estudo observacional. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 04, p. 1109-1124, 2015.
- STEEL, R. G. D. A rank sum test for comparing all pairs of treatments. *Technometrics*, v. 2, n. 2, p. 197-207, 1960.
- STEEL, R. G. D. *Some rank sum multiple comparison tests*. *Biometrics*, v. 17, p. 539-552, 1961.
- TEIXEIRA, L. S. *Dinâmicas Territoriais em Rondônia: Conflitos fundiários entorno do Projeto Integrado de Colonização Sidney Girão (1970 - 2004)*. 152 p. Dissertação (Mestrado em História) - Programa de Pós-Graduação em História, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Porto Alegre, 2015.
- TEIXEIRA, M. R. *A Utilização do Geoprocessamento na Análise Ambiental e Sua Importância na Tomada de Decisões: Um Estudo Sobre O Uso do Geoprocessamento em Pesquisas Sobre Ocupação Desordenada Do Solo*. 40 p. Pós-graduação Lato Sensu em Análise Ambiental e Desenvolvimento Sustentável - Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2015.
- The jamovi project (2021). *jamovi*. (Version 1.6) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- TURCHI, L. M. *A colonização dirigida no processo de expansão e ocupação da fronteira agrícola: território federal de Rondônia*. 1981.

---

USGS – U.S Geological Survey. *Science for a Changing World*. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 22 fev. 2021.

VIANNA, Elen Oliveira. *O Campo Térmico Urbano – Ilhas de Calor em Brasília-DF*. 2018. 267 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília – UNB, Brasília, DF, 2018.